

长春龙嘉国际机场罕见复合型天气过程诊断分析及航班影响研究

于超越, 朱有义

民航吉林空管分局, 吉林 长春 130062

DOI:10.61369/EAE.2026040023

摘要 : 2026年4月3日长春龙嘉机场降雨、降雪、雷暴冰雹、大雾叠加的罕见复合型灾害天气过程, 对长春龙嘉国际机场航班起降、地面运行造成极大影响。本文利用 ECMWF 全球预报场、CMA-MESO 中尺度逐小时模拟产品、长春高空探空观测、龙嘉机场精细化气象要素实况及单站温湿风垂直速度剖面等多源气象资料, 开展系统性诊断分析。从大尺度环流背景、冷暖空气交汇、中低层水汽输送、垂直动力分层结构、热力不稳定层结、对流潜势、近地面辐合条件6个维度揭示多相态天气共存的物理机制。结果表明: 500hPa 短波槽快速东移引导强冷空气南下; 高低层垂直分层水汽输送提供充沛水汽条件; 整层贯通式上升运动为天气发展核心动力; 0℃层与 -20℃冰晶层高度配置适宜, 冰水共存层厚度充足, 配合锋面强迫抬升, 促成了局地雷暴冰雹; 早间 CAPE 近乎为0, 但依靠锋面强迫与强垂直风切变依然能够触发强对流, 是本次过程预报难点。

关键词 : 雷暴冰雹; 大雾; 垂直环流; 对流不稳定; 冰水共存层

Diagnosis and Analysis of Rare Composite Weather Processes and Their Impact on Flights at Changchun Longjia International Airport

Yu Chaoyue, Zhu Youyi

Civil Aviation Jilin Air Traffic Control Branch, Changchun, Jilin 130062

Abstract : On April 3, 2026, a rare composite disaster weather process involving rainfall, snowfall, thunderstorms, hail, and dense fog occurred at Changchun Longjia Airport, causing significant impacts on flight take-offs and landings as well as ground operations. This study utilized ECMWF global forecast fields, hourly simulation products from CMA-MESO, high-altitude sounding observations in Changchun, real-time meteorological data at Longjia Airport, and vertical velocity profiles of temperature, humidity, and wind at individual stations to conduct a systematic diagnostic analysis. From six dimensions including the large-scale circulation background, convergence and divergence of cold and warm air masses, water vapor transport in the middle and lower layers, vertical stratification structure, thermal instability layering, convective potential, and near-surface convergence conditions, the physical mechanism of the coexistence of multiple phases of weather was revealed. The results show that the rapid eastward movement of the 500 hPa short-wave trough guided strong cold air southward; vertical stratified water vapor transport in both upper and lower layers provided abundant water vapor conditions; the entire layer's continuous upward motion was the core driving force of the weather; the height configuration of the 0℃ layer and the -200℃ ice crystal layer was appropriate, with sufficient thickness of the ice-water coexistence layer, and combined with frontal forcing uplift, local thunderstorms and hail were formed; the early morning CAPE was nearly zero, but the combination of frontal forcing and strong vertical wind shear still enabled the triggering of strong convection, which was the difficulty in the forecast of this process.

Keywords : thunderstorm and hail; dense fog; vertical circulation; convective instability; ice-water coexistence layer

引言

春季东北地区处于西风带短波槽活跃期，冷暖空气交汇频繁，极易出现连续性阴雨、平流雾与局地突发雷暴冰雹叠加的复合型灾害天气^[1-3]。这类天气往往具备突发性强、局地特征显著、天气相态转换快等特点，常规早间探空热力指标常常难以预判午后对流爆发，对民航机场气象预报、航班运行管控带来较大挑战^[4]。2026年4月3日长春龙嘉国际机场经历了先连续性降雨、中午前后局地雷暴冰雹、傍晚快速雨转雪的完整天气演变，过程中伴随阶段性低能见度，龙嘉机场出现航班绕飞、延误、备降等情况。

现有的东北地区春季灾害天气研究，多单独针对暴雪、暴雨、强对流或大雾单一天气开展诊断分析，对一日内同步出现雨、雪、雷暴冰雹、大雾四类天气的复合型个例的诊断研究较少。本文针对本次典型个例开展精细化诊断，厘清多相态天气形成物理机制，总结预报着眼点与民航保障策略，旨在为长春龙嘉国际机场春季多灾害叠加天气精细化预报、航空气象服务提供理论支撑。

一、资料与分析方法

本文使用国内常规天气实况分析场，ECMWF全球预报，CMA-MESO区域中尺度模式逐小时输出产品，长春站08时高空探空观测资料，长春龙嘉机场地面实况观测数据。采用天气学环流分型、冷暖空气锋面分析、垂直环流分层诊断、探空热力参数定量判读、单站时序剖面演变、多相态天气区分判识相结合的综合诊断手段^[5]。综合各物理量场构建“雨-雪-雾-强对流”复合型天气物理概念模型，总结同类复合型灾害天气预报判别指标。

二、天气实况与机场影响

(一) 天气实况概述

受高空冷涡及地面倒槽共同影响，2026年4月3日长春龙嘉国际机场出现雷暴伴冰雹、降雨、降雪、大雾等多种天气叠加的复合型天气过程，10:59—19:20为小到中雨，其中12:07—12:46出现雷暴，12:18—12:21伴有冰雹，13:56—17:21出现大雾，期间主导能见度最低400米，RVR最低800米。19:20—4日02:48转为小雪天气。

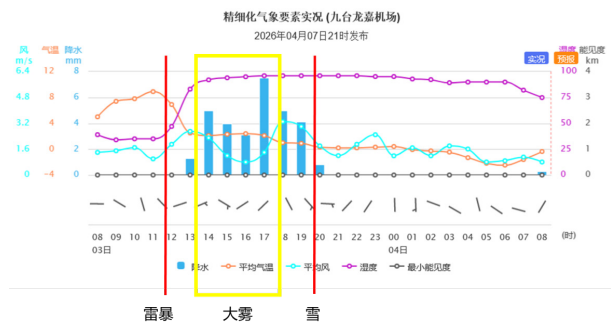


图1 2026年4月3日龙嘉机场逐时精细化气象要素实况时序图

(二) 航班运行影响

连续性降雨长时间造成跑道湿滑、刹车效应下降；雷暴冰雹时段机场周边对流云团发展旺盛，空管启动流量管控，限制起降间隔，大量进港航班采取空中盘旋、航线绕飞措施，部分航班备降至周边机场；大雾导致能见度下降，影响起降标准；傍晚雨雪转换后面面积雪结冰风险上升，增加了机场除冰保障压力，全天航班准点率明显下滑。

三、环流背景诊断分析

(一) 500 hPa 高空环流形势

欧亚中高纬呈两槽一脊经典环流分型，贝加尔湖低涡中心不断分裂短波槽沿西北气流快速东移南下，4月3日白天短波槽主体过境吉林省中部，槽后西北气流引导干冷空气东移南下。高空急流位于40° N附近，急流轴抽吸作用为对流发展提供动力条件。

(二) 700 hPa 环流形势

700 hPa处于短波槽前西南气流控制，西南急流建立稳定的水汽与动量输送通道，同时中层整层维持大范围上升运动，既是低层水汽向上输送的关键载体，也是冰雹云垂直发展的核心层次。中层冷暖交汇剧烈，为持续性降水与局地强对流提供中层动力支撑。

(三) 850 hPa、925hPa 环流形势

850 hPa、925hPa存在显著低空西南急流，作为主力水汽输送环流，持续将黄渤海海域充沛水汽向北输送至吉林省中部。温度槽随低空急流同步东移过境，层内气温快速下降，形成低层暖湿环流、700 hPa中层冷环流的垂直环流配置，为雨雪共存的降水相态转换提供环流温度梯度。急流出口区存在显著气旋性切变与风向辐合环流，低层辐合环流向上与700 hPa中层上升环流垂直衔接，一方面维持大范围系统性上升环流与层状降水，另一方面局地环流扰动为零散积雨云触发提供初始抬升动力。

(四) 地面气压场与锋面配置

地面环流场上，蒙古冷高压主体东移，华北低压倒槽向北伸展，冷暖锋面在吉林省中部交汇，长春处于锋面核心影响区域。锋面环流附近水平气压梯度增大，局地环流风速短时增强，冷暖空气环流直接碰撞交汇；锋前暖区高湿静稳环流催生持续性大雾环流；锋面过境阶段，锋面辐合环流强迫抬升，触发局地雷暴冰雹对流环流；锋后西北气流持续南下降温，本场快速转为降雪天气。

四、水汽条件定量分析

(一) 高低层垂直分层水汽输送结构

925 ~ 850 hPa低层西南急流为主输送层，持续将黄渤海暖湿水汽输送至长春锋面交汇区；700 hPa中层西南气流依托系统性上升运动，构成垂直水汽输送通道，形成地面至400 hPa深厚的饱

和湿层，垂直厚度达6 km以上。过程时段长春低层水汽通量稳定高于 $12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，水汽通量散度均为负值，水汽持续强净流入，为大范围雨雪、雾、强对流提供充足水汽条件。

（二）单站垂直湿层与零度层时序演变

长春站逐小时温湿垂直剖面显示，4月3日全天自地面至400 hPa均维持饱和湿区，相对湿度接近100%。零度层高度随冷空气南下快速下降，是雨雪转换的核心判定因子：上午零度层位于700 hPa以上，午后冷空气渗透，零度层下降至800 hPa附近，中层低温区产生冰晶，近地面始终饱和，无明显干层。九台龙嘉机场时序实况图完整复现该演变规律（图2），13~19时湿度曲线维持饱和，20时后气温快速下降对应零度层下降、降水相态转换。

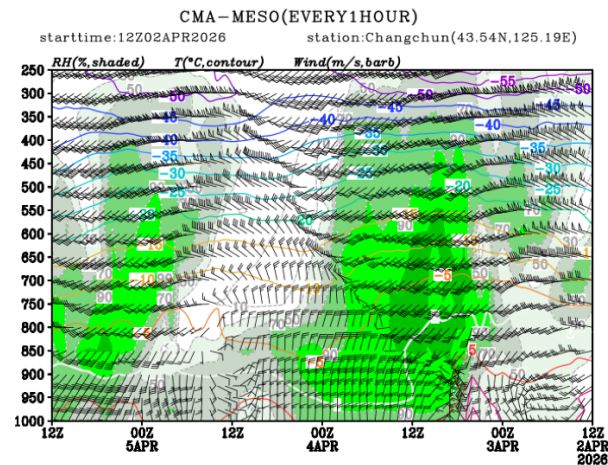


图2 2026年4月2日12时~5日12时长春站CMA-MESO相对湿度、温度和风向风速的高度-时间剖面图

（三）水汽与多类天气耦合机制

充沛深厚水汽在不同垂直温度、动力条件下分化出四类天气：①近地面气温 $>0^{\circ}\text{C}$ 、弱上升：液态降雨；②中层700 hPa气温 $<0^{\circ}\text{C}$ ：固态降雪；③强辐合贯通整层、热力不稳定：积雨云发展，出现雷暴、冰雹；④近地面静稳饱和：水汽凝结形成大雾。水汽充足是四类天气同步出现的基础，垂直温度分层、动力强弱差异决定不同时段主导天气类型。

五、大气垂直动力分层结构

本次过程垂直动力核心特征为地面至对流中高层贯通式整层持续上升；从08—20时长春龙嘉机场时间-高度垂直速度剖面可见，大范围负垂直速度自近地面1000 hPa向上延伸至300 hPa高空，强上升中心长期盘踞400~700 hPa中层，14时前后上升强度达到全天峰值，充沛垂直抬升是持续性雨雪、短时局地对流冰雹同步发生的核心动力基础。

（一）低层强辐合上升（近地面—850 hPa）

低空西南急流与地面锋面辐合触发近地层系统性抬升，低层上升运动持续向上扩张，将近地面饱和暖湿气流向上输送，与中层上升气流打通完整抬升通道。低层持续辐合长时间维持机场层

状降雨，造成跑道持续湿滑，同时为局地对流单体提供初始启动抬升。

（三）中层上升输送作用（850 hPa—400 hPa）

700 hPa是本次上升运动的核心主体层，全天被强上升区覆盖，14时对流爆发前后上升强度达到峰值，垂直速度接近 -0.45 Pa/s ，是连接低层水汽与高空冰晶层的关键通道。低层暖湿水汽借助中层强上升持续输送至 0°C 融化层与 -20°C 冰晶层之间的冰水共存区，为冰雹胚胎反复碰并过冷水、径向生长提供持续托举动力。

（四）高空急流抽吸增强上升（400 hPa以上高空）

200 hPa高空急流通过高层分流抽吸效应，与低层、中层上升气流上下联动，进一步放大整层垂直抬升幅度，延长降水与对流生命周期。

六、对流层结与冰雹形成条件分析

（一）环境热力与风切变特征

08时探空显示区域对流有效位能CAPE数值趋近于0，环境预置不稳定能量匮乏，整体层结趋于稳定；但高低空垂直风切变显著，叠加地面锋面强外部强迫，弥补了预置CAPE不足，具备触发局地突发对流的潜势，也是本次过程早间探空难以预判午后冰雹的核心原因。

（二）垂直风切变的对流维持作用

较强的高低空垂直风切变能够延长对流单体生命周期，避免对流云快速消散，配合中层强上升气流，为冰雹粒子循环升降增长提供环境保障，是低CAPE环境下脉冲式冰雹能够落地的重要支撑条件。

（三） 0°C 层与 -20°C 冰晶层配置

探空廓线实测 0°C 融化层高度为2012 m， -20°C 冰晶层高度为5085 m，冰水共存层垂直厚度可达3073 m，充足的云内冰水共存厚度为冰雹胚胎碰并过冷水滴、径向增长提供了优越的垂直空间，完全满足局地冰雹形成与发展的温度结构条件，但因上午热力稳定，仅在午后锋面强迫抬升阶段可短时生成冰雹。

七、结论

（一）2026年4月3日长春雷暴冰雹天气由500 hPa东移短波槽主导，高空干冷叠置低层暖湿形成对流不稳定层结，低空急流与地面锋面辐合为天气发展提供基础抬升条件。

（二）水汽呈现高低层垂直分层输送结构，低层西南急流负责水平水汽汇聚，中层依托上升运动完成垂直水汽输送，共同构建深厚饱和湿层，支撑降雨、大雾、冰雹多相态天气共存。

（三）地面至对流中高层贯通式整层上升运动是本次过程核心动力，700 hPa中层为上升运动核心，峰值上升气流既维持持续性降水，又为冰雹粒子循环增长提供关键托举。

(四) 本次冰雹属于典型低CAPE、强风切变、锋面强迫型对流, 0℃层、-20℃层满足冰雹落地生长的理想层结条件; 早间热力稳定特征增加了预报难度。

(五) 吉林省中部春季天气预报需重视前倾槽、风切变、锋

面强迫等动力因子, 不能仅依靠热力参数判断对流潜势, 通过多要素综合研判可显著提升复合型灾害天气的预报准确率和机场服务保障能力。

参考文献

-
- [1] 孙继松. 强对流天气预报的基本原理与技术方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2014.
 - [2] 陈艳秋, 王东海, 张立祥. 东北地区春季强对流冰雹天气环境参数特征分析 [J]. 气象与环境学报, 2018, 34(02): 28-34.
 - [3] 王秀娟, 孙力, 李尚锋. 吉林省春季雨雾共存天气环流分型及物理机制 [J]. 东北师大学报 (自然科学版), 2020, 52(03): 118-124.
 - [4] 民航局空管局. 机场气象服务与航班运行保障规范 [Z]. 2022.
 - [5] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法 (第4版) [M]. 北京: 气象出版社, 2007.